

**ANALISA PENGGUNAAN *VORTEX GENERATOR* PADA  
*ELBOW* PIPA UNTUK MENGURANGI LAJU EROSI PADA  
SISTEM PERPIPAAN KAPAL**

**SKRIPSI**

*Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



**DISUSUN OLEH:**

**AINUR ROFIQ  
D091171512**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2022**

**ANALISA PENGGUNAAN *VORTEX GENERATOR* PADA  
*ELBOW* PIPA UNTUK MENGURANGI LAJU EROSI PADA  
SISTEM PERPIPAAN KAPAL**

**SKRIPSI**

*Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



**DISUSUN OLEH:**

**AINUR ROFIQ  
D091171512**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISA PENGGUNAAN *VORTEX GENERATOR* PADA *ELBOW* PIPA  
UNTUK MENGURANGI LAJU EROSI PADA SISTEM PERPIPAAN  
KAPAL**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**AINUR ROFIQ**

**D091171512**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 18 Oktober 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

**Pembimbing Utama,**

**Pembimbing Pendamping,**



**Baharuddin, ST., MT**  
NIP. 197202021998021001



**Andi Husni Sitepu, ST., MT.**  
NIP. 197702172001121001



**Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan**

**Dr. Eng. Faisal Mahmudin, ST., M.Inf., M Eng.**  
NIP.198102112005011003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Ainur Rofiq  
NIM : D091171512  
Program Studi : Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul:

“Analisa Penggunaan *Vortex Generator* pada *Elbow* Pipa untuk Mengurangi Laju Erosi pada Sistem Perpipaan Kapal”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 18 Oktober 2022

Yang membuat pernyataan,



FF377AKX109304272

Ainur Rofiq

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil ‘alamin, Puji syukur kehadirat Allah subhanawata’ala atas rampungnya skripsi ini. Tidak sedikit kendala yang menghadang penyusun dalam menyelesaikan skripsi ini, namun berkat rahmat dan hidayah-Nya telah membimbing penyusun untuk terus berusaha menyelesaikan salah satu mata kuliah di departemen Teknik Sistem Perkapalan, Universitas Hasanuddin.

Ini merupakan persyaratan untuk menyelesaikan studi di departemen Teknik Sistem Perkapalan – Universitas Hasanuddin. Penyusun harus mengakui, skripsi ini masih sangat jauh dari sempurna, semua karena keterbatasan waktu dan pengetahuan serta kemampuan penyusun sebagai manusia biasa. Untuk itu penyusun mohon maaf atas semua kekurangan dan kesalahan yang terjadi di dalam penyusunan skripsi “Analisa Penggunaan Vortex Generator Pada *Elbow* Pipa Untuk Mengurangi Laju Erosi Pada Sistem Perpipaan Kapal” ini, serta penyusun berharap masukan dan saran agar ke depannya penyusun dapat lebih baik lagi.

Dalam penyusunan skripsi ini, banyak pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung, secara moril maupun materil. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Allah Subhanawata’alah
2. Ibu Chawair Rasyid dan Bapak Suhardi Dachrul selaku orang tua penulis yang senantiasa melangitkan doanya dan memberikan dukungan secara moril dan materil serta Ainun Khusnuzhzhhan selaku saudara penulis.
3. Dr. Eng Faisal Mahmudin S.T., M.Eng. selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
4. Baharuddin, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membantu penulis dengan bimbingan, kritik dan saran yang dimasukkan.
5. Andi Husni Sitepu, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membantu penulis dengan bimbingan, kritik dan saran yang dimasukkan.

6. Andi Haris Muhammad, ST.,MT, Ph.D dan Ir. Zulkifli MT. selaku dosen penguji.
7. Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan bekal pengetahuan dan keterampilan.
8. Bapak Rahman selaku Staf Administrasi Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu penulis dalam hal administratif.
9. Teman-teman Midship yakni teman-teman seperjuangan sistem perkapalan 2017 yang selalu memberikan support-nya dan bantuannya untuk penulis.
10. Senior-senior Platform 2015 yang senantiasa berbagi ilmu dan pengalamannya pada penulis dan kawan-kawan.
11. Senior-senior Anzyz 2016 yang senantiasa berbagi ilmu dan pengalamannya pada penulis dan kawan-kawan.

Akhirnya penyusun berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penyusun secara pribadi serta pada pembaca yang menjadikan skripsi ini sebagai acuan atau pedoman dalam pembelajaran ataupun dalam menyusun skripsi. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya pada kita semua. Aamiin.  
Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarokatuh.

Gowa, Oktober 2022

Yang menyatakan

Ainur Rofiq  
D091171512

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>ABSTRAK</b> .....	xiv
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penulisan .....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1 Sistem Instalasi Perpipaan.....	6
2.2 <i>Fitting Elbow</i> .....	6
2.3 Pengertian Korosi Erosi.....	7
2.4 Mekanisme Pembentukan Korosi Erosi .....	7
2.5 Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Korosi Erosi .....	8
2.6 <i>Vortex Generator</i> .....	11
2.7 <i>Computational Fluid Dynamic</i> .....	13
2.8 <i>Lagrangian Discrete Phase Model</i> .....	16
2.9 <i>Euler-Lagrange - Discrete Element Method</i> .....	17
2.10 Model Prediksi Erosi .....	18
2.10.1 Model Erosi Finnie.....	19

2.10.2 Model Erosi Generic .....	19
2.10.3 Model Erosi Oka .....	20
2.10.4 Model Erosi McLaury .....	20
2.11 Perhitungan Lifetime .....	21
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>23</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	23
3.2 Studi Literatur .....	23
3.3 Pengumpulan Data .....	23
3.4 Tahapan Simulasi .....	24
3.5 Pembuatan Geometri Model .....	25
3.5.1 Model Standar .....	26
3.5.2 Vorteks Model Penambahan <i>Vortex Generator</i> .....	26
3.6 Simulasi Aliran .....	43
3.6.1 <i>Pre-Processing</i> (Pembuatan Geometri dan <i>Meshing</i> ) .....	44
3.6.2 <i>Processing</i> .....	46
3.6.3. <i>Solution</i> .....	47
3.7 Validasi .....	47
3.9 Kesimpulan .....	48
3.10 Diagram Alur .....	49
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>51</b>
4.1 Pengaruh laju aliran terhadap laju erosi pada <i>elbow</i> .....	52
4.1.1 Hasil Simulasi Aliran Model Elbow Standar .....	52
4.1.2 Hasil Simulasi Aliran Model <i>Elbow</i> Modifikasi .....	53
4.2 Pola aliran pada aliran fluida .....	63
4.2.1 Hasil Simulasi Distribusi Jalur Partikel Model Elbow Standart .....	63
4.2.2 Hasil Simulasi Distribusi Jalur Partikel Model <i>Elbow</i> Modifikasi .....	64
4.3 Modifikasi <i>vortex generator</i> terhadap laju erosi .....	71
4.3.1 Hasil Simulasi Laju Erosi Model Elbow Standar .....	71
4.3.2 Hasil Simulasi Laju Erosi Model <i>Elbow</i> Modifikasi .....	73
4.3.3 Perhitungan Lifetime .....	84
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>95</b>



5.1 Kesimpulan.....	95
5.2 Saran.....	96
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	97
<b>LAMPIRAN</b> .....	100

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Fitting Elbow.....	6
Gambar 2.2. Skema erosi : (a) sebelum tumbukan; (b) menghasilkan fokasi dan menumpuk material pada satu sisi lubang; (c) pemisahan material dari permukaan (Mazdak Parsi, 2015).....	8
Gambar 2. 3. Pengaruh kecepatan terhadap mass loss.....	9
Gambar 2. 4. Dimensi Elbow Pipa Standar (Solnordal et al., 2015).....	10
Gambar 2. 5. Distribusi Kecepatan pada Elbow Standar pada Kecepatan 80 m/s (Solnordal et al., 2015) .....	10
Gambar 2. 6. Vektor Kecepatan pada Elbow (Ebara et al., 2016) .....	10
Gambar 2. 7. Profil erosi pada laju alir fasa cair pada kecepatan berbeda .....	11
Gambar 2. 8. Bentuk <i>Vortex Generator</i> Limas Alas Segitiga (Wang et al., 2017).....	12
Gambar 2. 9. Bentuk <i>Vortex Generator</i> Trapesium (Habchi et al., 2010).....	12
Gambar 2. 10. Bentuk <i>Vortex Generator</i> Elips (M.S & Fernandes, 2021).....	12
Gambar 2. 11. Bentuk <i>Vortex Generator</i> Kotak (Studi et al., 2018) .....	13
Gambar 2. 12. Bentuk <i>Vortex Generator</i> Segitiga (Zhai et al., 2019).....	13
Gambar 2. 13. Transfer panas-massa dan momentum antara fase diskrit dan kuntu (ANSYS, ANSYS Help Viewer version 18.0, 2018) .....	17
Gambar 2. 14. Interaksi antar partikel (ANSYS, ANSYS Help Viewer version 18.0, 2018) .....	18
Gambar 3. 1. Model elbow standar .....	26
Gambar 3.2. Simulasi Ansys FLUENT R19.2.....	44
Gambar 3.3. Desain 3 Dimensi Model <i>Elbow</i> Pipa .....	45
Gambar 3.4. Meshing model pipa.....	45
Gambar 3.5. Detail meshing model pipa.....	46
Gambar 4.1. Tiga Langkah Simulasi Erosi CFD: Model Aliran, Pelacakan Partikel, dan Kalkulasi Erosi (Parsi, 2015).....	51
Gambar 4.2. Kontur kecepatan aliran simulasi Model Elbow Standart.....	53
Gambar 4.3. Kontur kecepatan aliran simulasi Vorteks Model Limas 3 .....	54
Gambar 4.4. Kontur kecepatan aliran simulasi Vorteks Model Kotak 4 .....	55

Gambar 4.5. Kontur kecepatan aliran simulasi Vorteks Model Elips 2.....	56
Gambar 4.6. Kontur kecepatan aliran simulasi Vorteks Model Trapesium 3 .....	57
Gambar 4.7. Kontur kecepatan aliran simulasi Vorteks Model Segitiga 2.....	58
Gambar 4.8. Distribusi Jalur Partikel Model Elbow Standar.....	64
Gambar 4.9. Distribusi Jalur Partikel Vorteks Model Limas 3.....	65
Gambar 4.10. Distribusi Jalur Partikel Vorteks Model Kotak 4.....	66
Gambar 4.11. Distribusi Jalur Partikel Vorteks Model Elips 2 .....	67
Gambar 4.12. Distribusi Jalur Partikel Vorteks Model Trapesium 3.....	68
Gambar 4.13. Distribusi Jalur Partikel Vorteks Model Segitiga 2.....	69
Gambar 4.14. Laju Erosi Model Elbow Standart.....	73
Gambar 4.15. Laju Erosi Vorteks Model Limas 3 .....	74
Gambar 4.16. Laju Erosi Vorteks Model Kotak 4 .....	75
Gambar 4.17. Laju Erosi Vorteks Model Elips 2.....	76
Gambar 4.18. Laju Erosi Vorteks Model Trapesium 3.....	77
Gambar 4.19. Laju Erosi Vorteks Model Segitiga 2.....	78
Grafik 4. 1 Hubungan kecepatan terhadap laju erosi .....	62
Grafik 4.2. Perbandingan nilai laju erosi CFD dan perhitungan manual .....	84
Grafik 4. 3 Nilai lifetime (years)pada kecepatan inlet 2.293 m/s metode Finnie. 87	
Grafik 4. 4 Nilai lifetime (years)pada kecepatan inlet 2.293 m/s metode Generic 87	
Grafik 4. 5 Nilai lifetime (years)pada kecepatan inlet 2.293m/s metode Mclaury 88	
Grafik 4. 6 Nilai lifetime (years) pada kecepatan inlet 2.293 m/s metode Oka. ... 88	
Grafik 4. 7 Nilai lifetime (years) pada kecepatan inlet 2.293 m/s. .... 89	
Grafik 4. 8 Nilai lifetime (years) kecepatan inlet 6.879 m/s metode Finnie..... 89	
Grafik 4. 9 Nilai lifetime (years) kecepatan inlet 6.879 m/s metode Generic ..... 90	
Grafik 4. 10 Nilai lifetime(years) kecepatan inlet 6.879m/s metode Mclaury..... 90	
Grafik 4. 11 Nilai lifetime (years) kecepatan inlet 6.879 m/s metode Oka ..... 91	
Grafik 4. 12 Nilai lifetime (years) pada kecepatan inlet 6.879 m/s ..... 91	
Grafik 4. 13 Nilai lifetime (years) pada kecepatan 13.578 m/s metode Finnie .... 92	
Grafik 4. 14 Nilai lifetime (years) pada kecepatan 13.578 m/s metode Generic.. 92	
Grafik 4. 15 Nilai lifetime (years) pada kecepatan 13.578 m/s metode Mclaury . 93	
Grafik 4. 16 Nilai lifetime (years) pada kecepatan 13.578 m/s metode Oka..... 93	

Grafik 4. 17 Nilai lifetime (years) pada kecepatan 13.578 m/s. .... 94

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Pipa .....	24
Tabel 3. 2 Data pompa ballast.....	24
Tabel 3. 3 Parameter penelitian penggunaan desain <i>vortex generator</i> . .....	27
Tabel 3. 4 Penempatan <i>vortex generator</i> pada <i>elbow</i> .....	30
Tabel 3. 5 Desain 3D Model standar dan model penambahan <i>vortex generator</i> ..	33
Tabel 3.6. Informasi Mesh .....	46
Tabel 3.7. Parameter fluida dalam simulasi .....	47
Tabel 3. 8. Parameter partikel dalam simulasi .....	47
Tabel 4.1. Kontur kecepatan pada tiap model elbow .....	60
Tabel 4.2. Nilai laju erosi pada tiga kecepatan variasi pada pengujian model <i>elbow</i> standar. ....	62
Tabel 4.3. Nilai Laju Erosi ( $\text{Kg/m}^2\text{s}$ ) .....	80
Tabel 4.4. Nilai laju erosi dalam satuan (mm/years) .....	81
Tabel 4.5. Perbandingan nilai laju erosi perhitungan manual dan Prediksi Erosi CFD .....	83
Tabel 4. 6 Hasil perhitungan nilai lifetime.....	85

**ANALISA PENGGUNAAN VORTEX GENERATOR PADA ELBOW  
PIPA UNTUK MENGURANGI LAJU EROSI PADA SISTEM  
PERPIPAAN KAPAL**

<sup>1</sup>Ainur Rofiq, <sup>2</sup>Baharuddin, <sup>2</sup>Andi Husni Sitepu.

<sup>1</sup>Students of Marine Engineering FT-UH

<sup>2</sup>Lecturer of Marine Engineering FT-UH.

Jalan Poros Malino Km. 6, Bontomarannu. Gowa, Sulawesi Selatan. 92171

Email : [ainurrofiq.opiq@gmail.com](mailto:ainurrofiq.opiq@gmail.com)

**ABSTRAK**

Peningkatan kebutuhan akan sistem perpipaan saat ini sangat penting sebagai sarana untuk mendistribusikan atau mengalirkan fluida dari satu tempat ke tujuan. *Fitting elbow* itu sendiri sebagai komponen perpipaan yang bertujuan membelokkan arah aliran dimana berperan penting dalam sistem instalasi perpipaan. Pengangkutan partikel yang melewati *elbow* tersebut menyebabkan penipisan dinding akibat erosi, menjadikannya cukup sering dan juga merupakan penggantian yang membutuhkan biaya. Dalam penelitian ini melakukan pemecahan masalah dengan penambahan *vortex generator* atau sistem pengacau aliran yang di pasang di dalam *elbow*. Prediksi erosi yang akurat terutama pada *elbow* dapat digunakan untuk meningkatkan desain kerja *elbow*, wilayah inspeksi, limit pengoperasian dan lainnya. Dalam penelitian ini digunakan permodelan CFD pada aplikasi ANSYS Version R19.2 untuk memprediksi laju erosi dalam aliran fluida air laut dengan variasi bentuk *vortex generator* dan kecepatan fluida. Didapatkan hasil berupa profil kecepatan, pelacakan partikel dan laju erosi pada elbow pipa. Hasil simulasi nilai laju erosi paling rendah dan profil distribusi erosi yang paling efektif mengurangi laju erosi pada vortex model segitiga 2 dan vortex model trapesium 3 dengan nilai  $7.771 \times 10^{-7}$  Kg/m<sup>2</sup>s dan  $6.622 \times 10^{-7}$  Kg/m<sup>2</sup>s ditinjau dari segi distribusi laju erosi pada permukaan *vortex* standard lebih kecil area terdampak erosi dibandingkan model *elbow* standard dan nilai lifetime paling optimal pada model standard dan vortex model segitiga 2 dengan metode generic memiliki nilai besar 242.1 tahun dan 237.7 tahun.

**Kata kunci** : Erosi, Elbow, Vortex Generator, *Computational Fluid Dynamic* (CFD), *Discrete Phase Method*

## **ANALYSIS OF UTILIZATION THE VORTEX GENERATORS ON ELBOW PIPES TO REDUCE EROSION RATE IN PIPING SHIP SYSTEM**

<sup>1</sup>Ainur Rofiq, <sup>2</sup>Baharuddin, <sup>2</sup>Andi Husni Sitepu.

<sup>1</sup>Students of Marine Engineering FT-UH

<sup>2</sup>Lecturer of Marine Engineering FT-UH.

Jalan Poros Malino Km. 6, Bontomarannu. Gowa, Sulawesi Selatan. 92171

*Email* : [ainurrofiq.opiq@gmail.com](mailto:ainurrofiq.opiq@gmail.com)

### **ABSTRACT**

Increased need for piping systems now is so importance as a means of distributing or draining fluid from one place to other destination. The elbow fitting itself as a piping component aims to deflect the direction of flow which plays an important role in the piping installation system. The transport of particles passing through the elbow leads to the thinning of the walls due to erosion, making it quite frequent and also a costly for replacement. In this study, solving the problem by adding a vortex generator or flow jamming system installed inside the elbow. Accurate erosion prediction, especially in the elbow, can be used to improve the elbow work design, inspection area, operating limit and others. In this study, CFD modeling was used on the ANSYS Version R19.2 application to predict erosion rates in seawater fluid flows with variations in the shape of the generator vortex and fluid velocity. Results were obtained in the form of speed profiles, particle tracking and erosion rates on the elbow pipe. The results of the simulation of the lowest erosion rate value and erosion distribution profile most effectively reduce the erosion rate in the triangle vortex model 2 and trapezoidal vortex model 3 with values of  $7,771 \times 10^{-7} \text{ Kg/m}^2\text{s}$  and  $6,622 \times 10^{-7} \text{ Kg/m}^2\text{s}$  in terms of erosion distribution on the surface of the texvor standard smaller area affected by erosion than the standard model and the most optimal lifetime value in the standard model and triangle vortex model 2 with the generic method has a large value of 242.1 years and 237.7 years.

**Keywords** : Erosion, Elbow, Vortex Generator, Computational Fluid Dynamic (CFD), Discrete Phase Method

## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Proses perencanaan sistem instalasi menggunakan prinsip teori aliran fluida untuk mendesain ketepatan dan efisiensi dari segi penempatan atau peletakan kemudian efisiensi dari segi keamanan dalam instalasi perpipaan harus disesuaikan peraturan standarisasi atau klasifikasi maupun dari spesifikasi *installation guide* dari sistem pendukung permesinan dan peraturan dan perhitungan instalasi pipa, terdapat pada Rules BKI volume III tahun 2016 tentang *machinery installation* agar efisien dalam pendesainan suatu sistem perpipaan.

Sistem instalasi perpipaan dilengkapi dengan komponen seperti katup-katup, pipa, flens, percabangan, *nozzle*, saringan (*strainer*), sambungan, dan lain-lain agar dapat melakukan transportasi fluida kerja antar peralatan (*equipment*) dari satu tempat ke tempat tujuan.

Sambungan atau fitting merupakan bagian penting dalam suatu instalasi perpipaan yang berupa sambungan penampang tetap, sambungan penampang berubah, belokan (*elbow*) atau sambungan bentuk T (*tee*) berfungsi untuk menyebarkan aliran, merubah aliran, memperbesar atau mengecilkan aliran termasuk fitting *elbow* itu sendiri sebagai komponen perpipaan yang bertujuan membelokkan arah aliran dalam instalasi sistem perpipaan. Kerusakan yang sering terjadi pada sambungan *elbow* tersebut disebabkan karena adanya perubahan sudut sehingga kecepatan aliran yang berlebihan dan aliran yang tidak menentu sehingga mengenai dinding fitting *elbow*. *Elbow* sangat sering ditemui dalam proses instalasi perpipaan di kapal. Pengangkutan partikel yang menumbuk permukaan *elbow* tersebut menyebabkan penipisan dinding akibat erosi, menjadikannya cukup sering terjadi kebocoran dan diperlukan perawatan penggantian yang membutuhkan biaya.

Potensi erosi pada *elbow* dan *tee* karena pengaruh laju alir terjadi pada lokasi belokan dalam dari aliran pada *elbow* dan *tee*. Sedangkan padatan dapat menyebabkan erosi pada lokasi keluar *elbow* daerah luar belokan dan *tee* pada



titik sambungan daerah luar belokan. Elbow mempunyai potensi erosi pada pipa *elbow* lebih tinggi dibandingkan pada pipa *tee* maupun pipa lurus.

Fenomena korosi-erosi adalah salah satu kegagalan paling sering terjadi pada sistem perpipaan. Korosi-erosi bisa menyebabkan pengurangan performa fungsi membelokkan aliran karena kebocoran, mengurangi tekanan kerja maksimum fluida yang diijinkan, dapat menyebabkan penipisan dinding dalam, juga dapat menyebabkan terjadinya kerusakan material instalasi perpipaan lebih awal dari umur desainnya. Fenomena penipisan dinding dalam ini dapat mengurangi sistem kerja perpipaan yang pada akhirnya dapat menimbulkan kerusakan parah (*catastrophic*) ketika menghadapi kondisi tekanan operasi oleh fluida didalamnya (Khalaj Khalajestani et al., 2015). Kondisi ini akan berpotensi menimbulkan kerugian dalam hal keselamatan pekerja, kehilangan finansial dan isu lingkungan. Biaya yang sangat besar tiap tahunnya digunakan untuk mengurangi terjadinya korosi-erosi pada sistem perpipaan (Zeng et al., 2014).

Studi erosi pada sistem perpipaan sudah sering dilakukan para peneliti seperti peneliti dapat memprediksi secara akurat karakteristik erosi pada berbagai macam geometri dan berbagai kondisi fluida. Beberapa model erosi untuk beberapa *fitting* seperti *elbow* dan *tee*. Sebagai contoh, (Shirazi et al., 1994) dan (Salama, 1998) mengembangkan model erosi sederhana pada lengkungan *elbow*. Pada penelitian lainnya, (Qian & Kanamaru, 2021) menggunakan permodelan aliran dan penelusuran partikel (*particle tracking*) untuk mempelajari efek lengkungan *elbow* pada laju erosi. Hampir semua model yang ada saat ini hanya mempertimbangkan erosi sebagai akibat dari tumbukan langsung, sedangkan efek dari fluktuasi turbulen pada erosi *elbow* tidak dipertimbangkan (Edwards et al., 2001).

Untuk mengamati fenomena korosi-erosi serta kaitannya dengan perilaku aliran fluida didalam *elbow section* berbahan baja karbon, (Zhang et al., 2013) melakukan sebuah penelitian dengan menggunakan metode *computational fluid dynamics* (CFD). Dari penelitian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa distribusi laju korosi-erosi yang terjadi pada dinding dalam *elbow section* bersesuaian dengan distribusi laju aliran fluida didalamnya.

Berkaitan dengan efek laju aliran fluida menghasilkan distribusi erosi pada dinding *inner* maupun *outer elbow*, diperlukan modifikasi untuk mengurangi laju aliran tersebut. Salah satu alat yang digunakan adalah *vortex generator*, VG pertama kali didokumentasikan oleh United dan Taylor (1950) dan perangkat tersebut digunakan untuk menghasilkan vortisitas dalam aliran fluida. VG telah banyak diterapkan di banyak bidang seperti, aeronautika dan astronomika, industri otomotif, dan industri kimia. Penelitian tentang VG sebagian besar berfokus pada kontrol pemisahan aliran dan peningkatan perpindahan panas. Pemasangan vortex generator dilakukan oleh penelitian (Wang et al., 2017) dikonfigurasi pada sebuah desain pipa dan dilakukan simulasi CFD. Pada penelitian (Wang et al., 2017) juga didapatkan aliran pipa yang optimal terhadap pengurangan tumbukan partikel turbulensi pada sisi permukaan *elbow*, penghalang aliran pada sisi yang dipasangkan VG sehingga memusatkan aliran ke bagian tengah pipa dan meningkatkan kinerja flotasi atau pemisahan campuran partikel dengan air.

Dalam studi ini dianalisa laju aliran, pelacakan partikel, dan laju erosi pada *fitting elbow* dengan pemasangan *vortex generator* dan mengacu beberapa penelitian terkait dengan bentuk desain dari VG didesain lima vortex berbeda yaitu; dengan bentuk limas, kotak, elips, trapesium, dan segitiga. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software komputasi dinamika fluida ANSYS Fluent R19.2.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari uraian latar belakang diatas, rumusan masalah yang akan digunakan penulis pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh laju aliran terhadap laju korosi erosi?
2. Bagaimana pola aliran yang terjadi dalam aliran fluida pada *elbow*?
3. Bagaimana pengaruh bentuk, jumlah dan penempatan *vortex generator* pada *fitting elbow* terhadap laju erosi?

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir yang akan dicapai oleh penulis adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh laju aliran terhadap laju korosi erosi pada elbow.
2. Menganalisa pola aliran yang terjadi dalam aliran fluida.
3. Melakukan modifikasi bentuk, jumlah *vortex generator* maupun variasi penempatan serta menyimulasikannya sehingga didapatkan jumlah dan lokasi yang paling rendah laju erosi terhadap *elbow* pipa.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Penelitian hanya sebatas *fitting elbow* dan L/R 90° yang pada sistem instalasi perpipaan pada kapal dan diameter yang konstan.
2. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software ANSYS.
3. Simulasi pada software Fluent Ansys R19.2 menggunakan fluida *sea water*/air laut.
4. Simulasi dilakukan dengan memasukkan kecepatan 2.293 m/s, 6.879 m/s, 13.758 m/s.
5. Keluaran dari hasil simulasi berupa nilai kontur kecepatan (m/s), visualisasi pelacakan partikel, laju erosi (Kg/m<sup>2</sup>s) dan lifetime (years)

### 1.5 Manfaat Penulisan

1. Sebagai referensi untuk penggunaan *vortex generator* pada sistem perpipaan kapal.
2. Dapat menjadi referensi dalam penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan masalah ini.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi dan pembaca memahami uraian dan makna secara sistematis, maka skripsi disusun pada pola berikut:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini konsep dasar penyusunan skripsi yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini diberikan penjelasan mengenai teori dasar yang digunakan dalam penyelesaian skripsi ini yaitu teori dasar mengenai korosi erosi, pengaruh kecepatan aliran terhadap korosi erosi, *vortex generator*, CFD (computational fluid dynamic), prediksi erosi, perhitungan lifetime yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini.

### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dijelaskan tahapan-tahapan yang berupa proses yang dimulai dari mengidentifikasi masalah yang ada hingga hasil akhir yang diharapkan.

### **BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan penyajian data-data yang telah diperoleh, proses pengolahan data serta hasil pengolahan data.

### **BAB V : PENUTUP**

Bab ini akan disajikan secara singkat kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan dan juga memuat saran-saran bagi pihak yang berkepentingan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem Instalasi Perpipaan

Pipa adalah suatu batang silinder berongga yang dapat berfungsi untuk melalui atau mengalirkan zat cair, uap, gas ataupun zat padat yang dapat dialirkan yang berjenis serbuk/tepung. Untuk pembuatan pipa baja dapat dibuat dengan beberapa metode antara lain *seamless pipe*, *butt welded pipe* dan *spiral welded pipe*. Pembuatan pipa disesuaikan dengan kebutuhan dan di bedakan dari batas kekuatan, ketebalan dinding pipa, temperature zat yang mengalir, jenis material berkaitan dengan korosi dan kekuatan material dari pipa tersebut.

Untuk instalasi pipa dikawal tentu pipa-pipa tersebut tidak hanya hanya pipa lurus melainkan terdapat belokan, cabang, naik dan turun. Panjang dari pipa pun beraneka ragam yang panjang ataupun pendek. Berkaitan dengan hal tersebut maka kita juga mengenal beberapa jenis sambungan dengan las (*butt welded*) dan sambungan dengan menggunakan flange selain itu di kenal juga istilah belokan atau *elbow*, cabang T atau *tee*, cabang Y dan ada juga pipa yang diameter mengecil disebut dengan reducer dan sesuai dengan atau mengikuti peraturan klasifikasi dari badan klasifikasi.

### 2.2 Fitting Elbow

Sambungan adalah bagian dari suatu instalasi perpipaan yang berfungsi sebagai penyambung antar pipa dan sebagai akhir atau *outlet fitting*.



Gambar 2.1. Fitting Elbow

*Elbow* adalah salah satu jenis fitting dan merupakan komponen-perpipaan yang berfungsi untuk membelokan arah aliran. *Elbow* terdiri dari tiga jenis yang paling umum yaitu 45°, 90° dan 180°. Untuk memperoleh sudut di selain sudut

diatas, terkadang *elbow* tersebut di potong. Atau bisa juga dengan menggunakan dua *elbow* yang disatukan untuk memperoleh sudut tertentu. *elbow* dibagi menjadi dua tipe, tipe short radius dan long radius. Namun umumnya digunakan *long radius*, yang memiliki diameter belokan 1.5 kali NPS (*Nominal Pipe size*) nya.

### **2.3 Pengertian Korosi Erosi**

Korosi erosi merupakan jenis korosi yang menggunakan proses mekanik melalui pergerakan relatif antara aliran gas atau cairan korosif dengan logam. Dalam hal ini perusakan karena erosi dan korosi saling mendukung. Logam yang telah terkena erosi akibat terjadi keausan dan menimbulkan bagian-bagian yang tajam dan kasar. Bagian-bagian inilah yang mudah terserang korosi dan bila ada gesekan akan menimbulkan abrasi lebih berat lagi dan seterusnya. Korosi erosi dapat juga disebabkan karena *impingment corrosion*, yaitu akibat fluida sangat deras dan dapat mengikis film pelindung pada logam yang mengakibatkan korosi pada logam. Korosi erosi dapat ditemukan pada sistem perpipaan (terutama pada *bend, elbow, dan joint*), *valve*, pompa, *nozzle, heat exchangers, turbine blades* dll.

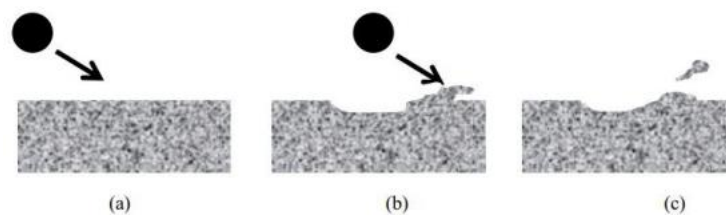
### **2.4 Mekanisme Pembentukan Korosi Erosi**

Saat sebuah partikel menghantam permukaan, hal itu dapat melukai permukaan, dan bentuk dari luka tersebut tergantung pada banyak parameter seperti permukaan material, ukuran partikel, dan sudut impak. Secara umum, hal itu dianggap bahwa perubahan mekanisme erosi bergantung pada keuletan permukaan. Finnie mengusulkan model mikro-geometri untuk material ulet. Dia berpendapat bahwa erosi pada material ulet merupakan hasil dari *micro-cutting*. Saat suatu partikel menumbuk permukaan pada sudut sempit, hal ini akan menghasilkan lubang. Partikel lain yang menumbuk akan membuat lubang menjadi semakin besar dan juga menumpuk material sekitar lubang. Model mikro-geometri menghasilkan erosi dibawah prediksi dimana dibandingkan dengan data eksperimen pada sudut yang lebih besar.

Kemudian, Finnie memperbaiki model tersebut sebagai adanya kelemahan (Finnie I. 1960). Berdasarkan model erosi mikro-geometri, pengerjaan pengerasan (*work hardening*) dari permukaan logam seharusnya mengurangi laju erosi.

Bagaimanapun, Levy menunjukkan bahwa awal erosi yang terjadi pada kondisi awal lebih rendah daripada permukaan yang telah tererosi (Levy, 1995).

Bellman dan Levy mengajukan sebuah mekanisme erosi makroskopik. Mereka berpendapat bahwa partikel yang membentur permukaan menghasilkan lubang dangkal dan tampak seperti potongan trombosit (Bellman & Levy, 1981). Trombosit tersebut mudah untuk dipisahkan dari permukaan dengan partikel yang menghantam selanjutnya (Gambar 2.2)



Gambar 2.2. Skema erosi : (a) sebelum tumbukan; (b) menghasilkan formasi dan menumpuk material pada satu sisi lubang; (c) pemisahan material dari permukaan (Mazdak Parsi, 2015)

## 2.5 Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Korosi Erosi

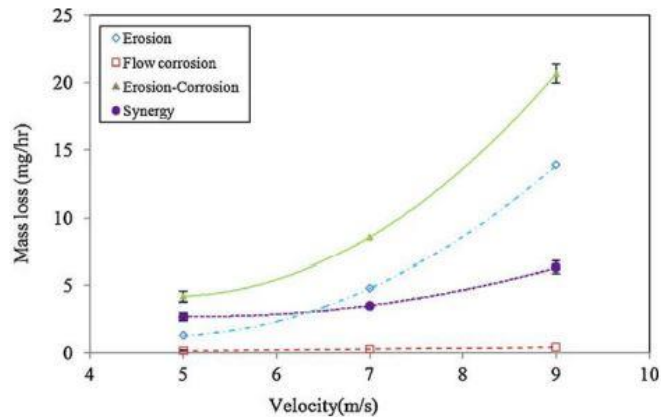
Kecepatan fluida sangat berpengaruh pada peristiwa erosi-korosi. Pada saat fluida diam atau kecepatan fluida sangat lambat, proses korosi akan sangat dominan. Peristiwa erosi-korosi amat ditentukan oleh kecepatan fluida, Korosi akan lebih dominan jika kecepatan fluida amat lambat, hal ini dikarenakan oleh lamanya waktu kontak, jika kecepatan fluida amat tinggi maka erosi yang akan lebih dominan.

Besarnya kecepatan fluida sangat berpengaruh terhadap bentuk kerusakan yang terjadi pada benda kerja. Pada kecepatan yang relatif rendah akan menyebabkan terjadinya korosi yang berbentuk *pitting*.

Sedangkan pada kecepatan tinggi, bentuk kerusakan yang terjadi pada permukaan bagian dalam pipa akan membentuk kerusakan *horseshoe*.

Kecepatan kritis merupakan batas kecepatan dari suatu material mengalami kerusakan lapisan pelindung yang akan mempermudah terjadinya korosi merupakan *critical velocity* untuk beberapa material. Kecepatan kritis ditentukan oleh media fluida, partikel dan sifat logamnya. Penelitian yang dilakukan oleh

S.S.Raharjam, T.J.Harvey, R.J.K.Wood dengan melakukan pengujian untuk UNS S31603 didapatkan adanya peningkatan weight loss yang dialami oleh benda kerja dengan peningkatan kecepatan setelah 5 m/s.

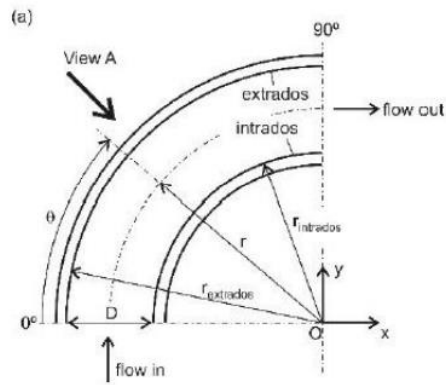


Gambar 2. 3. Pengaruh kecepatan terhadap mass loss

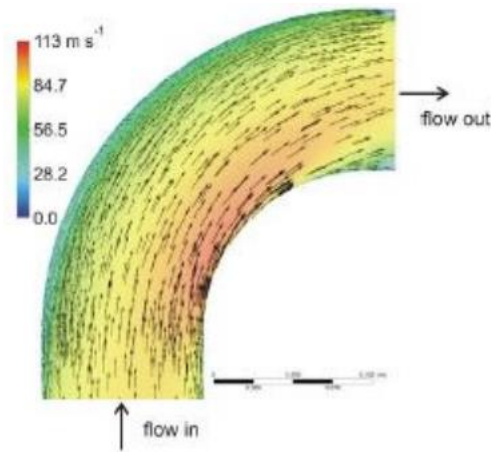
Gambar tersebut juga menunjukkan hasil yang diperoleh untuk total erosi korosi (T) dan komponen-komponennya (E, C dan S). Semua komponen termasuk erosi, aliran korosi, sinergi dan korosi erosi meningkat seiring dengan kecepatan fluida meningkat.

Pada penelitian eksperimen yang dilakukan oleh (Solnordal et al., 2015) pada Gambar 2.4 dan (Ebara et al., 2016) pada Gambar 2.5 Dapat dilihat pada Gambar 2.6 sebagai contoh dari hasil CFD dari variabel pertama, kecepatan fluida meningkat secara signifikan saat arahnya berbelok pada sudut belokan  $90^\circ$ . Dengan kecepatan fluida yang semakin tinggi, dapat dilihat perbandingan pada Gambar 2.6 daerah terpisah (*separated region*) semakin luas. *Separated region* merupakan wilayah berkecepatan rendah pada bagian inti dalam pipa (*intrados*).

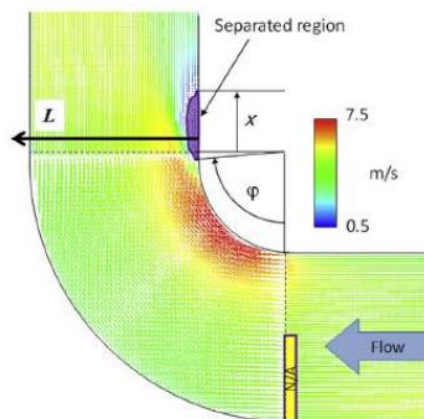




Gambar 2. 4. Dimensi Elbow Pipa Standar (Solnordal et al., 2015)

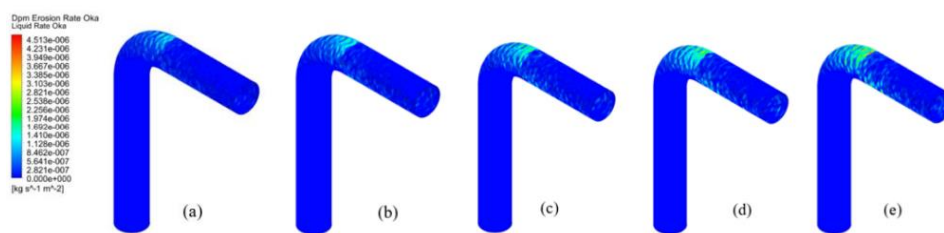


Gambar 2. 5. Distribusi Kecepatan pada Elbow Standar pada Kecepatan 80 m/s (Solnordal et al., 2015)



Gambar 2. 6. Vektor Kecepatan pada Elbow (Ebara et al., 2016)

Sesuai dengan Zhang et al. laju erosi berbanding lurus dengan kecepatan. Dalam hal ini peningkatan laju alir fasa cair berarti peningkatan kecepatan aliran fluida yang pada akhirnya meningkatkan kecepatan partikel yang menumbuk dinding material target. Hasil penelitian yang menunjukkan bahwa laju erosi meningkat dengan kenaikan kecepatan fluida cair. Pada Gambar 2.7 terlihat bahwa erosi sebagian besar terdistribusi ke bagian luar belokan dengan kenaikan laju alir fasa cair. Hal ini menunjukkan bahwa fluida dengan kecepatan yang lebih tinggi bergerak dari inti (sumbu pipa vertikal) aliran ke arah punggung belokan. Studi eksperimental aliran dua fasa air-udara yang dilakukan Yadav menunjukkan bahwa fluida di daerah belokan mengalami gaya sentripetal yang mengarahkan aliran dari pusat ke bagian luar belokan.



Gambar 2. 7. Profil erosi pada laju alir fasa cair pada kecepatan berbeda

## 2.6 Vortex Generator

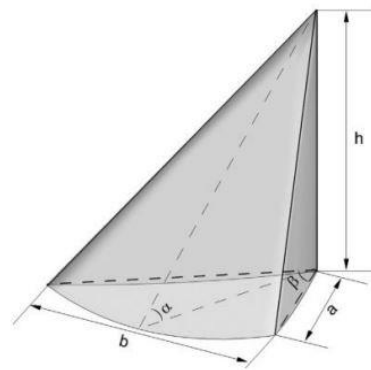
*Vortex generator* adalah permukaan aerodinamis yang terdiri dari baling-baling kecil yang menciptakan *vortex* dan biasa di gunakan pada desain pesawat. *Vortex generator* melambatkan aliran pemisahan dan mengulur-ulur aerodinamis, dengan demikian meningkatkan efektifitas sayap dan kontrol permukaan.

*Vortex generator* (VG) adalah salah satu dari teknologi pasif yang umum digunakan untuk meningkatkan efisiensi termal penukar kalor. VG akan memperluas luas permukaan di dalam saluran, menciptakan turbulensi aliran, dan menciptakan *secondary flow* sehingga terjadi peningkatan intensitas turbulensi pada saluran (Putra, 2016).

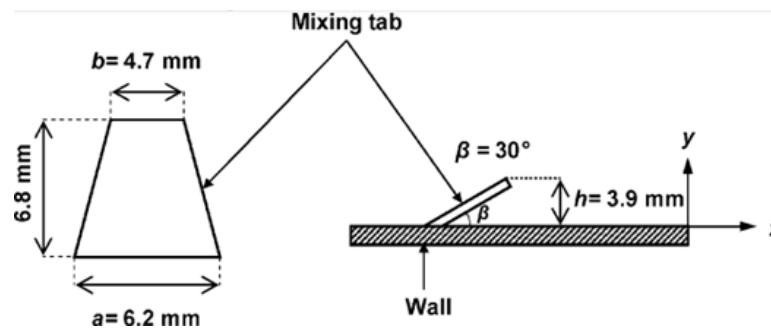
VG merupakan komponen yang dapat menciptakan vortices atau pusaran untuk meningkatkan performa perpindahan kalor pada HE. Aplikasi pemanfaatan VG dalam saluran berpenampang lingkaran seperti pencampuran dan pemisahan

material, industri kimia, pembangkit tenaga nuklir, pabrik pengolahan (Xu et al., 2017).

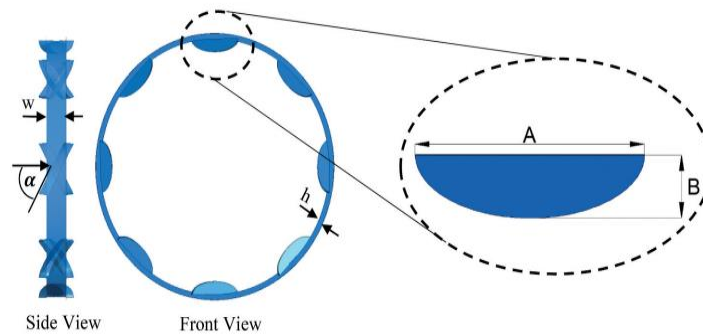
*Vortex generator* tersebut diimplementasikan atau diterapkan di dalam sistem perpipaan terutama pada elbow pipa dengan tujuan aliran fluida yang sangat cepat mengalir di dalam pipa dan membentur dinding elbow dapat berkurang atau melambat supaya mengurangi korosi erosi pada pipa.



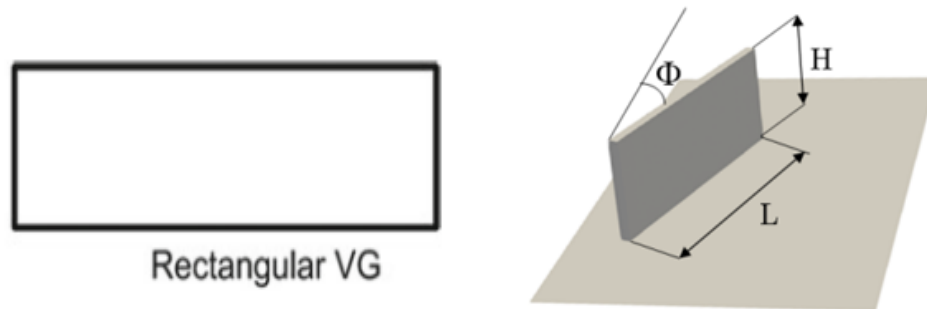
Gambar 2. 8. Bentuk *Vortex Generator* Limas Alas Segitiga (Wang et al., 2017)



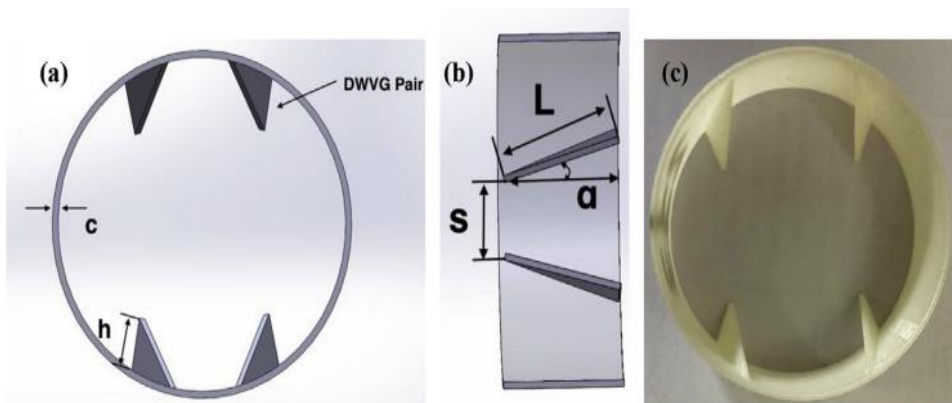
Gambar 2. 9. Bentuk *Vortex Generator* Trapesium (Habchi et al., 2010)



Gambar 2. 10. Bentuk *Vortex Generator* Elips (M.S & Fernandes, 2021)



Gambar 2. 11. Bentuk *Vortex Generator* Kotak (Studi et al., 2018)



Gambar 2. 12. Bentuk *Vortex Generator* Segitiga (Zhai et al., 2019)

## 2.7 Computational Fluid Dynamic

Saat aliran turbulen dimodelkan pada pipa dengan adanya pasir, perlakuan pada permukaan merupakan hal yang sangat penting untuk dilakukan dengan benar. Hal ini dikarenakan turbulen dapat memberikan dampak signifikan pada erosi yang terjadi. Pada Komputasi Dinamika Fluida, metode numerik dan permodelan fisika tersedia untuk memprediksi perkiraan pergerakan dan lintasan partikel yang tersuspendi dalam aliran turbulen (Dosanjh & Humphrey, 1985). *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan perangkat metode numerik yang diaplikasikan untuk mendapatkan perkiraan solusi dari masalah fluida dinamis dan perpindahan panas. Pengaturan persamaan pada aliran fluida telah diketahui selama satu abad lamanya. Persamaannya kompleks, tetapi penyelesaiannya sangat berguna untuk mengerti aliran fluida, sehubungan dengan dinamik dan perpindahan panas.

Sayangnya, persamaan tersebut tidak dapat diselesaikan secara sederhana. Sebuah pendekatan numerik digunakan sebagai prosedur komputasi untuk mencari sebuah pendekatan terhadap solusi. Pendekatan ini mengungguli secara teoritis dan eksperimen pada beberapa aspek penting seperti keuniversalan, fleksibilitas, akurasi, dan biaya. (Zikanov, 2010).

Code Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

#### 1. *Pre Processor*

Tahapan ini merupakan tahapan awal ketika akan melakukan proses simulasi. Pada tahap ini terdiri dari penggambaran model serta pembuatan mesh yang sesuai. Penggambaran model dapat dilakukan di luar software simulasi atau dapat juga melakukan penggambaran model pada software simulasi tersebut. Pada tugas akhir ini model berupa elbow akan dilakukan penggambaran dengan menggunakan software Solid Works. Setelah pemodelan telah dilakukan maka tahapan selanjutnya adalah melakukan proses *mesh* pada software ANSYS. Proses *meshing* bertujuan untuk membuat model agar terdiri dari beberapa susunan atau yang lazim disebut *cell* agar model dapat dijalankan dan dianalisa oleh *solver* ANSYS. Pada tahap *meshing* juga akan dilakukan penentuan batas batas model yang akan dilakukan pengujian.

#### 2. *Solver Manager*

Merupakan tahapan utama dari simulasi dengan CFD, yaitu dengan melakukan literasi atau perhitungan terhadap kondisi-kondisi batas yang telah ditentukan dalam tahapan *preprocessing*. Dalam proses ini data-data mengenai karakteristik kondisi batas dan material atau jenis fluida yang digunakan dimasukkan ke dalam program.

#### 3. *Post Processor*

*Postprocessing* adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengolah dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa data, gambar, grafik ataupun animasi.

Terdapat tiga persamaan yang mendeskripsikan hukum konservasi fisika klasik, konservasi masa, persamaan momentum, dan konservasi energi.

Saat fluida bergerak melalui elemen tersebut, persamaan dapat disajikan dalam bentuk diferensial; Persamaan kontinuitas membutuhkan konservasi massa:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2.1)$$

Persamaan Navier-Stokes diturunkan dari hukum Newton kedua:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial j} (\rho u_i u_j) \\ &= -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( 2\mu S_{ij} - \frac{2}{3}\mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) + \rho f_i \end{aligned} \quad (2.2)$$

Dimana  $S_{ij}$  merupakan laju regangan tensor dan  $\delta_{ij}$  merupakan *Kronecker delta-tensor*. Persamaan energi hanya dibutuhkan jika aliran merupakan kompressibel atau dengan kondisi konduksi termal, dimana dalam hal ini tidak masuk penelitian. ANSYS Fluent menggunakan teknik *finite volume* dengan mendiskretisasi (*discretizing*) dan menyelesaikan persamaan yang diberikan dalam setiap elemen fluida. Hal ini merupakan teknik *control-volume-based* yang terdiri dari mengintegrasikan persamaan transport tentang setiap kontrol volume. Dimulai dengan persamaan transport dalam bentuk integral (ANSYS, 2017):

$$\begin{aligned} & \int_V \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} dV + \oint \rho\phi \cdot d\vec{A} \\ &= \oint \Gamma_\phi \nabla\phi \cdot d\vec{A} + \int_V S_\phi dV \end{aligned} \quad (2.3)$$

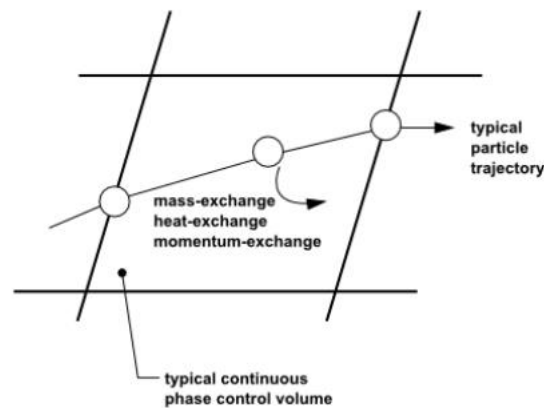
Integral volume lalu didiskretisasi dengan elemen dan diakumulasi ke kontrol volume ke bagian yang diinginkan. Integral permukaan didiskretisasi pada poin integral yang berlokasi pada pusat setiap segmen permukaan dengan elemen dan lalu didistribusikan ke kontrol volume yang berdekatan:

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t}V + \sum_f^{N \text{ faces}} (\rho_f\phi_f\vec{v}_s) \cdot \vec{A}_f \\
& = \sum_f^{N \text{ faces}} \Gamma_\phi \nabla\phi_f \cdot A_f + S_\phi V
\end{aligned}
\tag{2.4}$$

dengan  $f$  sebagai nilai volume control (ANSYS, 2017). Dengan beberapa penyesuaian, persamaan (2. 4) dapat digunakan untuk setiap kontrol volume pada domain yang diberikan. Hasilnya akan berupa persamaan aljabar yang dapat dipecahkan menggunakan metode iterasi, seperti gradient konjungasi, multigrid, dan lainnya.

## 2.8 Lagrangian *Discrete Phase Model*

Lagrangian *Discrete Phase Model* (DPM) dalam ANSYS Fluent memakai pendekatan Euler-Lagrange. Sebagai aturan praktis, konsentrasi partikel harus kurang dari 10% dari volume agar pendekatan dalam model dapat berfungsi. Fluida diperlakukan sebagai kontinum atau struktur yang dipecahkan menggunakan nilai rata-rata dari persamaan Navier-Stokes. Ketika fluida dipecahkan dengan benar menggunakan persamaan Navier-Stokes maka partikel-partikel dalam slurry akan terlacak dalam jumlah besar. Ketika menggunakan metode ini, partikel yang diangkut oleh cairan tidak akan mempengaruhi cairan dan volumenya, karena diabaikan. Oleh karena itu interaksi antar partikel juga dapat diabaikan (ANSYS, ANSYS Fluent Suport, 2015). Dengan fase kontinu yang tetap ini bisa juga disebut sebagai *one-way coupling* diantara fase. Meskipun dimungkinkan untuk memasukkan efek fase diskrit pada kontinum dan menjadi *two-way coupling* dalam fase. Pemecahan persamaan fase diskrit dan kontinu secara bergantian dilakukan sampai solusi pada kedua fase telah berhenti berubah.



Gambar 2. 13. Transfer panas-massa dan momentum antara fase diskrit dan kontinu (ANSYS, ANSYS Help Viewer version 18.0, 2018)

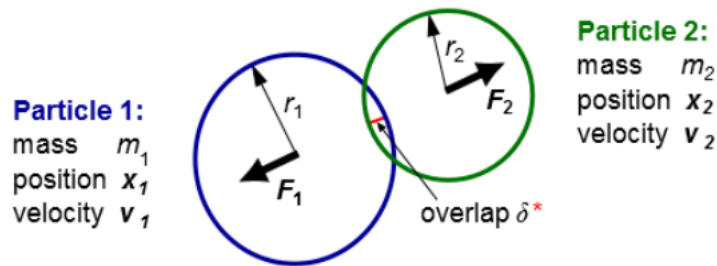
Di dalam Fluent, lintasan partikel dihitung secara individual pada interval tertentu selama perhitungan fase cair. Ketika mensimulasikan lintasan partikel, kondisi batas (boundary) perlu untuk diatur. Salah satu hal yang paling penting yaitu penentuan kondisi batas pada dinding yang menggambarkan benturan atau gesekan antara partikel dan dinding.

## 2.9 Euler-Lagrange - *Discrete Element Method*

Deskripsi Lagrangian akan melacak posisi dan kecepatan dari partikel dalam jumlah kecil yang berada pada fluida kontinu. Pergerakan partikel secara individu didasarkan pada hukum Newton. Keuntungan menggunakan metode Lagrangian adalah hal yang sangat berguna untuk mendeskripsikan kelakuan partikel. Metode ini didasarkan pada skema penggunaan dalam setiap interaksi partikel dilihat dengan kontak dan pergerakan partikel (Burman et al., 1980). DEM tersedia untuk simulasi dan aliran granular, dimana dikarakterisasi oleh masukan partikel yang lebih tinggi. DEM selalu dimasukkan dalam simulasi ketika interaksi antar partikel merupakan hal yang penting.

Ketika dua partikel berinteraksi dan memantul satu sama lain, dapat dilihat seperti pada gambar 2.14 (ANSYS, ANSYS Help Viewer version 18.0, 2018).





Gambar 2. 14. Interaksi antar partikel (ANSYS, ANSYS Help Viewer version 18.0, 2018)

Metode ini didasarkan pada konstanta pegas,  $k$ , dan ukurannya ketika partikel bersentuhan. Nilai  $k$  dapat diperkirakan dari persamaan berikut:

$$k = \frac{\pi v^2}{3\varepsilon_D^2} D\rho \quad (2.5)$$

Dimana:

- $D$  = Diameter partikel
- $\rho$  = Densitas partikel
- $v$  = Kecepatan relatif antar partikel yang berinteraksi
- $\varepsilon_D$  = Fraksi diameter overlap yang dibutuhkan

## 2.10 Model Prediksi Erosi

Ketahanan dinding material terhadap erosi tergantung pada kemampuan untuk berdeformasi dalam kondisi tertumbuk, diantara faktor lainnya. Material getas, erosi terjadi sebagai hasil dari retakan dan pengelupasan potongan berukuran mikro dari dinding material, sedangkan pada material ulet, erosi terjadi karena deformasi mikro-plastis yang berulang.

Parameter yang mempengaruhi mekanisme erosi antara lain: kecepatan partikel, sudut partikel, sifat mekanik material, temperatur dinding material, koefisien friksi antara partikel dan target, efek perlindungan yang disebabkan pantulan partikel.

Data eksperimen korosi yang ditemukan dalam literatur sering sekali terdapat ketidakpastian. Laju erosi dilaporkan oleh penulis dapat sangat bervariasi (meskipun dengan perintah dan material yang sama) (Aquaro & Fontani, 2001).

Model yang diikuti untuk memprediksi erosi dan untuk menentukan volume material yang tererosi telah diadopsi oleh ANSYS Fluent antara lain:

### 2.10.1 Model Erosi Finnie

Untuk semua material ulet, erosi mempunyai variable dengan sudut impact dan kecepatan dengan persamaan:

$$E = kv_p^n f(\gamma) \quad (2.6)$$

Dimana E merupakan laju korosi, k adalah konstanta,  $V_p$  merupakan kecepatan partikel impact, dan  $f(\gamma)$  merupakan fungsi impact terhadap sudut  $\gamma$ . Untuk logam, nilai dari eksponen n secara umum berada pada 2.3 sampai 2.5 radian.

Model Finnie menghubungkan tingkat keausan dengan laju energi kinetik impact partikel terhadap permukaan menggunakan fungsi dibawah:

$$f(\gamma) = \frac{1}{3} \cos^2 \gamma \text{ untuk } \gamma > 18.5^\circ \quad (2.7)$$

$$f(\gamma) = \sin(2\gamma) - 3\sin^2 \gamma \text{ untuk } \gamma \leq 18.5^\circ \quad (2.8)$$

Konstanta yang tersedia untuk ANSYS Fluent Model Erosi Finnie hanya valid untuk perhitungan erosi dimana partikel pasir menghantam dinding baja karbon (ANSYS, 2017).

### 2.10.2 Model Erosi Generic

$$ER = \sum_{p=1}^{N_{trajct}} \frac{\dot{m}_p C(d_p) f(\alpha) v_p^n}{A_{face}} \quad (2.9)$$

Dimana :

$\dot{m}_p$  = Laju alir massa (kg/s)

$f(\alpha)$  = Fungsi sudut impact

$v_p$  = Kecepatan Partikel (m/s)

n = Kecepatan eksponen

$C(d_p)$  = Fungsi diameter partikel

$A_{face}$  = Luas pipa. (m<sup>2</sup>)

### 2.10.3 Model Erosi Oka

Pada model ini, laju erosi E ditentukan sebagai:

$$E = E_{90} \left( \frac{V}{V_{ref}} \right)^{k2} \left( \frac{d}{d_{ref}} \right)^{k3} f(\gamma) \quad (2.10)$$

Dimana :

- $E_{90}$  = Rasio referensi erosi pada sudut  $90^\circ$
- $V$  = Kecepatan partikel (m/s)
- $V_{ref}$  = Kecepatan referensi (104 m/s)
- $d$  = Diameter partikel (m)
- $d_{ref}$  = Diameter referensi (326 m/s)
- $k2$  dan  $k3$  = Kecepatan dan diameter eksponen
- $f(\gamma)$  = Fungsi sudut impact

Sudut impact bergantung pada laju erosi sebagai:

$$f(\gamma) = (\sin\gamma)^{n1} (1 + Hv(1 - \sin\gamma))^{n2} \quad (2.11)$$

Dimana :

- $\gamma$  = Dinding sudut impact (rad)
- $Hv$  = Hardness dinding material Vickers (GPa)
- $n1$  dan  $n2$  = Konstanta fungsi sudut

### 2.10.4 Model Erosi McLaury

McLaury memberikan sebuah model untuk memprediksi laju erosi partikel pasir dalam air (McLaury et al., 1997). Model ini secara rutin telah digunakan untuk mensimulasikan laju erosi pada lumpur. Laju Erosi McLaury (E) :

$$E = AV^n f(\gamma) \quad (2.12)$$

$$A = F Bh^k \quad (2.13)$$

Dimana :

- $F$  = Konstanta empiris
- $V$  = Kecepatan tumbukan partikel (m/s)
- $Bh$  = Hardness Brinell dinding material
- $k$  = -0.59 untuk baja karbon.

$$f(\gamma) = b\gamma^2 + c\gamma \quad (2.14)$$

$$f(\gamma) = x\cos^2\gamma \sin(w\gamma) + y \sin^2(\gamma) + z \quad (2.15)$$

Konstanta b, c, w, x, dan y harus ditentukan dengan sebuah eksperimen. Sedangkan z ditentukan melalui fungsi sudut pada persamaan (2. 14) dan (2. 15).

### 2.11 Perhitungan Lifetime

Nilai ketebalan minimum dihitung untuk mengetahui nilai minimum material menahan tekanan fluida yang mengalir pada suatu sistem perpipaan. Terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk menghitung nilai minimum thickness diantaranya nilai *allowable stress* material dan *pressure* fluida. Perhitungan minimal ketebalan komponen perpipaan diatur oleh *code* dan standar yang berlaku . Dalam hal ini ASME B31.3 section 304.2 mengatur tentang hal tersebut. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{P \cdot D}{2(S \cdot E \cdot W + PY)} \quad (2.16)$$

Keterangan :

- t = *Pressure design thickness* (mm)
- P = Tekanan desain internal (bar)
- D = Diameter luar pipa (mm)
- S = *Applicable allowable stress value* (Psi)
- E = *Weld joint factor* (E=1)
- W = *Weld joint strange*
- Y = *Value of Coefficient*

$$t_m = t + c \quad (2.17)$$

Keterangan :

- t<sub>m</sub> = *Minimum thickness* (mm)
- c = *Corrosion allowance*

Perhitungan lifetime digunakan untuk menentukan ketahanan komponen perpipaan terhadap pengikisan dinding bagian dalam komponen perpipaan atau

erosion rate, mengacu pada API 570 *Inspection, Repair, Alteration, and Rerating of In-Service Piping Systems*, dengan persamaan sebagai berikut:

$$Tr = \frac{(t_{acc} - t_m)}{E_L} \quad (2.18)$$

Keterangan :

$Tr$  = *Remant lifetime* (years)

$t_{acc}$  = *Thickness actual* (mm)

$t_m$  = *Thickness minimum* (mm)

$E_L$  = *Erosion Rate* (mm/years)